

**Е. И. ГРИГОРЕНКО**, зав сектором,  
**Т.Г. ЖИВОЛУП**, канд. физ.-мат. наук,  
**В.И. ТАРАН**, докт. физ.-мат. наук, Институт ионосферы (г. Харьков)

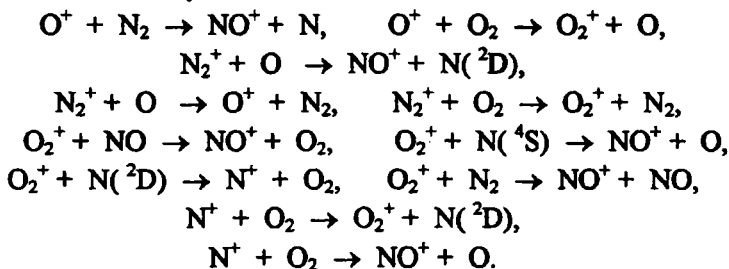
## ВАРИАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ИОНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СЕЗОНА И МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

В статті розглянуто теоретичну модель нижньої частини області F іоносфери, яка дозволяє розраховувати абсолютну та відносну концентрації молекулярних іонів. Розглянуто висотно-часові варіації цих параметрів для літнього та зимового сезонів, а також варіації висоти переходу від молекулярних іонів до іонів атомарного кисню під час магнітної бурі.

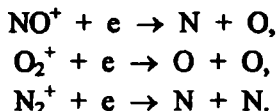
In this paper the theoretical model for the lower part of the F layer of ionosphere is presented. This model enables to calculate the absolute and relative concentrations of the molecular ions. The altitude-temporal variations of the ion composition for summer and winter are described. The variations of the transition height from molecular ions to atomic oxygen ions during the magnetic storm are considered.

**Введение.** Данные измерений относительного содержания молекулярных ионов, полученные на Харьковском радаре некогерентного рассеяния, представляют интерес как для уточнения существующих эмпирических моделей, так и для развития теории нижней части области F ионосферы [1].

Основными ионно-молекулярными реакциями в нижней части области F ионосферы являются следующие:



Кроме того, к ним нужно добавить три реакции диссоциативной рекомбинации:



Из теоретических и лабораторных исследований вытекает, что приведенные выше реакции являются основными процессами, определяющими преобразование первичных ионов  $O^+$ ,  $N_2^+$ ,  $O_2^+$  и  $N^+$ .

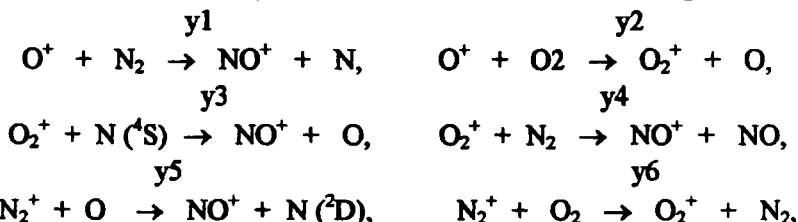
Следует отметить, что включение полной совокупности ионно-молекулярных реакций, протекание которых возможно на рассматриваемых высотах, существенно усложняет анализ всей картины и не позволяет наглядно выявить основные тенденции в поведении концентрации ионов, а введение дополнительных реакций не изменяет этих тенденций по существу.

Целью работы является исследование вариаций относительного содержания молекулярных ионов с помощью разработанной в Институте ионосферы теоретической модели нижней части области F и полученных экспериментальных результатов.

Разработанная теоретическая модель учитывает ионизацию нейтральной атмосферы солнечным излучением и определяет концентрацию электронов  $N_e$  и ионных составляющих  $[NO^+]$ ,  $[O_2^+]$ ,  $[O^+]$  и  $[N_2^+]$ . Параметры нейтральной атмосферы берутся из модели MSIS-86 для конкретных гелиогеофизических условий.

Модель использует девятиинтервальный спектр коротковолнового солнечного излучения, приведенный в [2], и значения интенсивности коротковолнового излучения Солнца, определяемые значениями индекса  $F_{10.7}$  [3].

Предложенная модель учитывает шесть ионно-обменных реакций:



и две реакции диссоциативной рекомбинации:



(y1, y2, y3, y4, y5, y6, a1, a2 - скорости реакций).

Концентрация атомарного кислорода  $[O^+]$  определяется путем решения уравнения непрерывности. Из системы уравнений баланса ионизации вычисляются концентрации молекулярных ионов  $[NO^+]$ ,  $[O_2^+]$ ,  $[N_2^+]$  и электронная концентрация  $N_e$ .

Разработанная теоретическая модель позволяет рассчитать как абсолютную, так и относительную суммарную концентрацию молекулярных ионов.

**Обсуждение результатов.** Рассмотрим результаты измерений относительного содержания молекулярных ионов, полученные на Харьковском радаре некогерентного рассеяния.

Пример высотных профилей относительной концентрации молекулярных ионов в нижней ионосфере дан на рис. 1. Видна некоторая тенденция роста концентрации молекулярных ионов  $[M^+]$  в темное время суток.

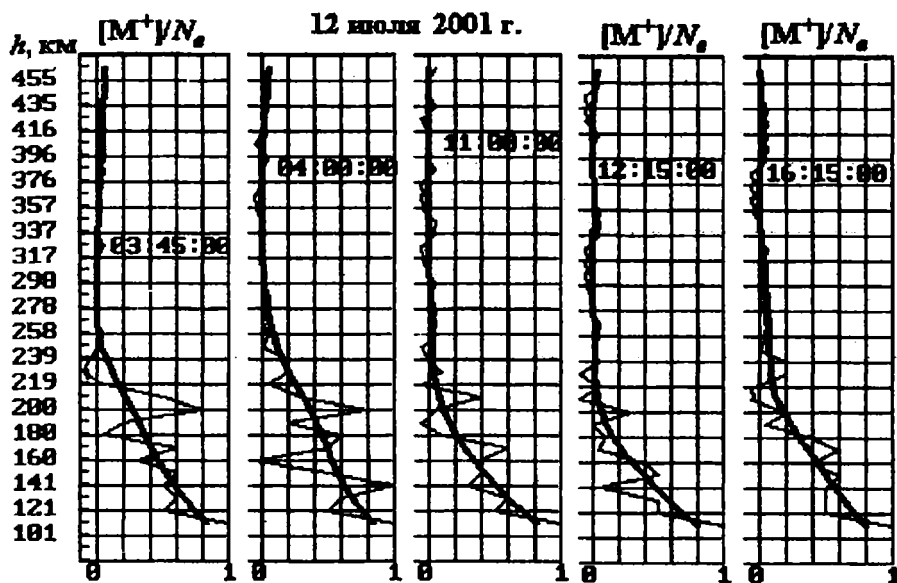


Рис. 1. Примеры высотного распределения ионного состава в нижней ионосфере в разное время суток

На рис. 2 приведены высотно-временные вариации ионного состава для разных сезонов года по результатам наблюдений на радаре НР в Харькове. Можно отметить значительное уменьшение относительной концентрации молекулярных ионов нижней ионосферы в зимний период. Так, вблизи полудня отношение  $[M^+]/N_e$  летом составляет около 0,3 для высоты 170 км, в то время как зимой оно уменьшается до значения 0,1.

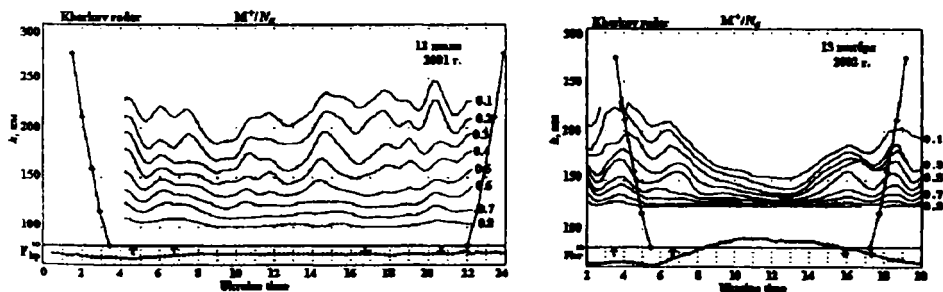


Рис. 2. Высотно-временные вариации относительной концентрации молекулярных ионов в периоды солнцестояния

Значительное уменьшение относительной концентрации этих ионов (до 3 раз), по-видимому, можно объяснить увеличением концентрации ионов  $O^+$  в зимний период. Это так называемая сезонная аномалия, которая обусловлена сезонными вариациями нейтрального состава атмосферы, увеличением концентрации атомарного кислорода и увеличением отношения концентраций  $[O]/[N_2]$  зимой.

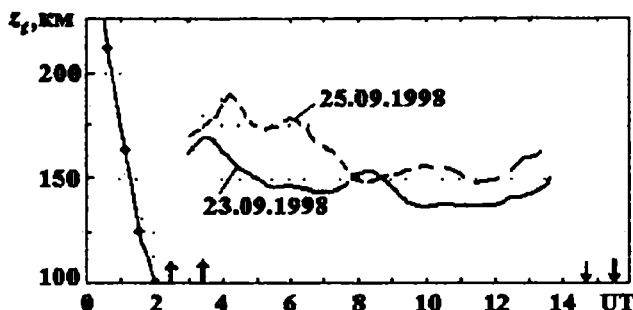


Рис. 3. Вариации высоты перехода от молекулярных ионов к ионам  $O^+$ , где  $[O^+]/N_e = 0,5$ , во время бури 25 сентября и в спокойный день 23 сентября 1998 г.

Рис. 3 иллюстрирует особенности поведения ионного состава нижней ионосферы в период сильнейшей магнитной бури 25 сентября 1998 г. Установлено, что в главную фазу магнитной бури в дневной ионосфере молекулярные ионы доминировали ( $[O^+]/N_e \leq 0.5$ ) почти до 180 км, в небольшом количестве они присутствовали даже на высоте ~300 км. Высота перехода  $h_i$  от молекулярных ионов к ионам  $O^+$  возросла почти на 20 км после 03.00 UT. Наблюдаемый эффект объясняется отрицательным характером ионосферного возмущения, вызванного магнитной бурей, при котором, как показали исследования, концентрация ионов  $O^+$  в области F2 уменьшилась в несколько раз.

**Основные выводы.** Экспериментальные данные, как и теоретические расчеты, подтвердили значительные вариации концентрации молекулярных ионов в нижней части области F ионосферы в зависимости от сезона года и от уровня магнитной активности. Они могут использоваться при разработке прогностических моделей ионосферы.

**Список литературы:** 1. Живалуп Т.Г., Черилес С.В. Результаты исследования высотного распределения молекулярных ионов в нижней части области F ионосферы, полученные на Харьковском радаре некогерентного рассеяния // Труды XX Всероссийской конференции по распространению радиоволн. Нижний Новгород. 2002. С.46-47. 2. Stubbe P. The thermosphere and the F-region: a reconciliation of theory with observations. Ionospheric Research Sci. Rep. N 418. Penn. State University. 1973. 156 p. 3. Иванов-Холодный Г.С., Фирсов В.В. Спектр коротковолнового излучения Солнца при различных уровнях активности // Геомагн. и астрономия. 1974. Т.14. N 3. С.393-398.

Поступила в редколлегию 08.04.03